けいはんな地域エネルギーマネジメントシステムの開発*

坂上 聡子[†]・井野本正樹[‡]・田熊 良行[§]・岩田 雅史[†]

Development of Keihanna Eco City Community Energy Management System (CEMS)*

Satoko SAKAJO[†], Masaki INOMOTO[‡], Yoshiyuki TAKUMA[§] and Masafumi IWATA[†]

In recent years, a lot of energy-smart community demonstration projects are being conducted around the world. The principal concept is the optimization of energy utilization in the whole community not the individuals in order to contribute to the coexistence of CO₂ reduction and QOL (Quality of Life). CEMS (Community Energy Management System) is one of the key technologies, which manages power demand and supply appropriately in the community. We developed Community EMS which cooperate with and request demand response to consumer EMS involving HEMS, BEMS, EV-charging management center through “Keihanna Eco-City Next Generation Energy and Social System Demonstration Project”. CEMS also control community storage battery in order to compensate for the lack of demand response. In this paper we propose the method to improve the effect of demand response and describe the verification through Keihanna Demonstration Project.

1. はじめに

近年, スマートコミュニティやスマートシティの社会実証試験が国内外で進められている [1]. その概念は, 再生可能エネルギーを含めたエネルギー供給と利用を, 家庭やビル, 工場などの個別単位でなく地域全体で包括的に管理するエネルギーの最適運用の形態であり, 低炭素社会と快適な暮らしの両立を目指すものとされる. このためにキーとなるシステムが, 地域エネルギーマネジメントシステム (CEMS: Community Energy Management System) である.

東日本大震災以降, 日本でもエネルギーの自給自足に対する関心が高まっている [2]. そこで, 供給量に合わせて需要量を調整しようとするデマンドレスポンス (DR: Demand Response) が注目されている. CEMS は, 需

要家に対して電力使用量の増減を要請する DR を行うことにより, 地域における電力の供給/需要を適切に管理する. CEMS のおもな事業モデルとしては, 特定時間帯の電力需要を抑制する「ピークカットモデル」と, 30 分単位の計画通りに電力を使用する (30 分同時同量)「電力需給調整モデル」がある.

DR は DSM (Demand Side Management) と異なり, 制御主体が需要家側であるため, 要請に対する応答を精度よく見積もる必要がある. そこで, 現在, 各地で DR 方式や価格に対する反応度に関する実証が行われている. たとえば, 横浜スマートシティプロジェクトでは, CPP (Critical Peak Price) や PTR (Peak Time Rebate) などの方式ごとの DR の有効性を検証している [3,4]. また, 北九州スマートコミュニティ創造事業では, ダイナミックプライシングで時間帯別に電気料金を変動させた場合の需要削減効果を検証している [5]. これらはいずれもピークカットモデルに関する DR 実証であり, 電力需給調整モデルについては蓄電池制御を行うのみである [5,6].

このような, 市場高騰時や需給逼迫時の停電回避のための需要抑制を目的とした, エネルギーの見える化効果や料金に対する需要の反応に関する研究は国内外で数多く実施されてきた [7,8]. しかし, 市場価格が高いときに需要を抑制し, 安いときに需要を促進する利益追求型の

* 原稿受付 2014 年 7 月 11 日

[†] 三菱電機株式会社 Mitsubishi Electric Corporation; Tsukaguchi-Hommachi, Amagasaki city, Hyogo 661-8661, JAPAN[‡] 三菱電機株式会社 Mitsubishi Electric Corporation; Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, JAPAN[§] 三菱電機株式会社 Mitsubishi Electric Corporation; Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe city, Hyogo 652-8555, JAPAN**Key Words:** energy management system, demand response, demonstration project, community storage battery.

出典：けいはんなエコシティ次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト推進協議会資料

Fig. 1 Target region of Keihanna Project

DRに関する研究はほとんど見られない。著者らは、利益追求型のDRにおいて、30分単位で、事前に策定した電力使用量目標に一致するようにコミュニティ全体の電力需要をコントロールする30分同時同量を目的とするCEMSの電力需給調整モデルを提案している[9]。

本論文では、電力需給調整モデルにおいて、地域全体のDR応答性を高め、インバランス料金を最小化するための方策として、需要家ごとのDR要請量配分の最適化と地域蓄電池制御を提案し、けいはんな学研都市において進めているCEMS実証試験で提案手法を検証した結果について述べる。

2. けいはんなエコシティ次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト

けいはんなエコシティ次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト[9,10]は、経済産業省の「次世代エネルギー・社会システム実証事業」の選定を受け、2010年度から開発、実証に取り組んでいる。

けいはんな学研都市（正式名：関西文化学術研究都市）は、京都府、大阪府、奈良県にまたがる丘陵地に位置している（Fig. 1）。実証地域は、京都府の2市1町からなるエリアで、この地域は宅地開発が大規模に進行しており、新しい社会システムについて住民を交えて実証するのに最適なフィールドである。

本実証の目的は、新しく開かれた地域をモデルとし、電力系統と連携しつつ、需要家のエネルギー使用の効率化と再生可能エネルギーの有効活用を行うCEMSを開発し、その有効性を実証することである。需要家は、家庭部門のHEMS（Home EMS）、業務部門のBEMS（Building EMS）、運輸部門のEV管理センター（EVC：Electric Vehicle charging management Center）の三つからなり、これらを「需要家EMS」と称する。

3. CEMS実証への取り組み

本章では、本実証で想定するCEMS事業モデルとCEMS概要および機能について述べる。

3.1 CEMS事業モデル

著者らはCEMS事業モデルとして、「電力需給調整モデル」と「ピークカットモデル」を想定している[9,11]。

各モデルの比較をTable 1に示す。

Table 1 Comparison between CEMS models

事業モデル	想定事業者	目的、機能
電力需給調整モデル	小売事業者	<ul style="list-style-type: none"> ● 需要削減または需要促進により、実績を目標に一致させる ● 市場価格と売電価格の差額を原資とする ● 目標と実績の一致度に応じて、需要家EMSにインセンティブを付与 ● インバランス最小化により収益向上
ピークカットモデル	アグリゲータ	<ul style="list-style-type: none"> ● 系統要請による需要削減 ● 系統からの協力を原資とする ● 計画（ベースライン）からの削減量に応じて、需要家EMSにインセンティブを付与

電力需給調整モデルは、卸電力取引市場から電力を調達し、1日を30分単位の48時間帯に区切った各時間帯の電力使用量実績を、事前に策定した目標に一致させることにより、調達の過不足を低減し、インバランス料金を最小化することを目的としている。CEMSは市場価格が高いときは需要を削減、安いときには需要促進するように需要をコントロールすることにより事業収益を上げられる。しかし、需要家EMSのDR応答性が良いとインセンティブが増大し、悪いとインバランスが増大してコストが増加する。そこで、CEMSは需要家EMSの需要計画とDR応答性、市場価格に基づいて、コストを低減できるように電力使用量の目標を設定し、インセンティブと目標を提示して、需要家EMSにDRを要請する[12]。目標は需要削減の場合と需要促進の場合がある。需要家EMSに対しては、実績と目標の一致度に応じてインセンティブを支払う。

一方、ピークカットモデルは、系統からの要請に応じて実施されるもので、需要家EMSに対して需要削減のDRを要請する。需要家EMSに対しては、計画からの削減量に応じたインセンティブを支払う。

本論文では、電力需給調整モデルにおいて、電力使用量目標と実績を一致させて、インバランス料金を最小化するための手法を提案し、提案手法の検証結果について述べる。

3.2 CEMS概要

CEMSのシステム構成をFig. 2に、DRの手順をFig. 3に示す。Fig. 3の左端のタイトルは、DRのステップを表し、各ステップにおいて、CEMSは、図中央の枠内の機能を実行する。本節では、手順に従ってCEMS機能と交換される情報の内容について述べる。

3.2.1 予測

地域運用計画の立案や、将来の天候変化などによる運用計画の見直しのために、気象情報提供会社より提供される気象予報と過去の実績に基づいて、各需要家EMSの発電量、電力使用量、蓄電池の充放電量を予測する。

CEMSは、前日14:00までに、需要家EMSに対して、DRを実施する旨を通知して、DRを要請する。

Fig. 2 System configuration

Fig. 3 Flow of DR demonstration

3.2.2 翌日計画

需要家 EMS は翌日の電力使用量などの計画を 16:00～18:00 に CEMS に送信する（翌日計画）。CEMS は全需要家 EMS の翌日計画を収集して、電力会社の系統運用を模擬した系統側システムに送信する。CEMS は太陽光発電の余剰電力抑制対策や需給逼迫時の需要抑制対策などの系統側システムからの要請を受けて地域目標を策定する。つぎに、地域目標を満たすように、調整可能量の範囲内で、各需要家 EMS に目標を配分し、需要家 EMS に DR 目標とインセンティブ情報を提供して、DR 要請を行う。これにより、地域全体でのエネルギー利用の効率化や電力需給の安定化を行う。

翌日計画の詳細な手順を Fig. 4 に示す。(a)～(f) の各手順について述べる。

Fig. 4 Flow diagram of day ahead DR

(a) 需要家 EMS 計画の収集

需要家 EMS から計画を収集する。計画は、時間帯ごとの送受電電力量計画と調整可能量からなり、調整可能量は DR 要請に応じて増減可能な送受電電力量の範囲を

表す。

(b) インセンティブ上下限の算出、地域目標の策定

卸電力取引市場の取引価格に基づいて、事業者、需要家の双方にとってメリットが最大となるように、時間帯ごとに地域目標を策定し、インセンティブ上限を算出する [11]。例として、Fig. 5 に 2013/8/5 の地域送受電電力量の計画、調整可能量、目標、実績の関係を示す。ここで、たとえば 0630 時間帯は、6:00～6:30 の 30 分を表す。Fig. 5 では、調整可能量の範囲内で、8:30～17:30 は計画に対して 5% 需要抑制、それ以外は 5% 需要促進の目標を設定したことを示している。

インセンティブ下限は、需要家 EMS の価格応答性を考慮して、需要家 EMS が計画通りに電力を使用するために必要な最低限のインセンティブを設定する。

Fig. 5 Example of load curve

(c) 需要家 EMS への DR 要請量配分

(a) で受信した各需要家 EMS の計画と、(b) で策定した地域目標の差を DR 要請量として、需要家 EMS ごとの調整可能量計画と過去に要請した DR に対する反応度である DR 応答性に基づいて、DR 要請量を配分する。DR 応答性と、DR 応答性に基づく配分方法の詳細については、4.1 で述べる。

(d) 最大インセンティブの算出

DR 要請量に応じて、最大インセンティブを算出する。最大インセンティブは、目標と実績が一致したときに需要家 EMS が得られるインセンティブの最大値である。DR 要請量が多いほど需要家に負担を強いることになるので、Fig. 6 の太線のように、計画と目標の差の絶対値に従って最大インセンティブが大きくなるように設定する。ただし、最大インセンティブが大きくなりすぎると、CEMS のリスクとなるので、事業上、付与可能なインセンティブの最大値として、最大インセンティブに上限を設ける。時間帯 T における需要家 EMS i に対するインセンティブ上限を $iMax(i, T)$ 、インセンティブ下限を $iMin(i, T)$ とすると、最大インセンティブ $I(i, T)$ は、(1) 式で求められる。 $\Delta p(i, T)$ は計画と需要家に要請する目標の送受電電力量の差であり、 $\Delta p'(i, T)$ は $I(i, T) = iMax(i, T)$ となるときの計画と目標の差である。 $\Delta p'(i, T)$ の算出方法は、4.1 で述べる。

$$I(i, T) = \min \left(iMin(i, T) + \frac{|\Delta p(i, T)|}{|\Delta p'(i, T)|} \times (iMax(i, T) - iMin(i, T)), iMax(i, T) \right) \quad (1)$$

Fig. 6 Maximum incentive and performance index

Fig. 6のインセンティブ付与範囲は、CEMS運用者が事業上の観点から、需要家EMSに対して期待するDR応答の範囲を設定する。

(e) インセンティブ関数の設定

需要家EMSごと時間帯ごとに、(d)で決めた最大インセンティブを頂点、(c)で配分された目標を中心とする一定の範囲（インセンティブ付与範囲）を底辺としたFig. 6の細線のような二等辺三角形をインセンティブ関数として設定する。このインセンティブ関数は、実績が目標と一致したときに(1)式で算出した最大インセンティブとなり、その乖離度に応じて減少し、需要家EMS-CEMS間であらかじめ設定した一定のインセンティブ付与範囲を超えると0（ゼロ）となるような評価関数である。

(f) 需要家EMSに対するDR要請

(c)で配分した目標と(e)で設定したインセンティブ関数に関する情報を各需要家EMSに送信して、電力使用量の実績を目標に一致させるように通知して、DRを要請する。

3.2.3 当日計画

当日になって、気象予報の変化などにより需要家EMSの計画が変更される場合があるが、その場合でも前日のスポット市場で決定した調達量を変更しないことが望ましい。そこで、当日7:30~9:30に、再度、計画の変更を受け付けて、前日に決定したDR要請量をコミュニティ全体で満たすように要請量を再配分して、DR要請を更新する（当日計画）。

翌日計画の(a)~(f)と同様に、DR要請を行う。ただし、当日計画では、省CO₂を考慮して、翌日計画より送受電電力量が増加しないように、以下のように地域目標を設定する。

当日の地域送受電電力量計画 ≤ 翌日の地域目標なら、

当日の地域目標 = 地域送受電電力量計画

当日の地域送受電電力量計画 > 翌日の地域目標なら、

当日の地域目標 = Max（翌日の地域目標、当日の地域調整可能量下限）

3.2.4 実績収集、地域蓄電池制御

各需要家EMSのエネルギー発生量、使用量を1分単位で収集する。地域エネルギー監視画面をFig. 7に示す。CEMS運用者はこの画面を参照して、実績と目標が大幅に乖離することがないかを監視する。

Fig. 7 Monitoring screen of community energy production and consumption

地域内の同時同量を達成するために、需要家EMSの電力使用状況を監視し、地域目標とのずれを補償するように、地域蓄電池の充放電指令電力を算出する。地域蓄電池は指令された電力で充放電を行うように動作する。充放電指令電力の算出方法の詳細は4.2で述べる。

3.2.5 需要家EMS評価

CEMSは、需要家EMSごとに評価値を算出して、DRに対する貢献度を評価する。実証終了時に、評価値に基づいて、ポイント管理センターから、スーパーやコンビニなどで電子マネーとして利用可能なポイントを発行する。ここでは、評価値の算出方法について述べる。

Fig. 8は、Fig. 6で決定したインセンティブ関数であり、評価値は、インセンティブ関数を用いて、目標と実績から求められる。

以上、計画、目標、制御の各段階におけるCEMSと各需要家EMSとの機能の違いをまとめる。

Fig. 8 DR evaluation

Table 2 Comparison between CEMS and EMS

	CEMS	需要家EMS
計画	<ul style="list-style-type: none"> 需要家EMSの計画と調整可能量を積み上げ 各需要家EMSの計画と調整可能量を予測し、計画を受信できなかった需要家EMSの計画を補完 	<ul style="list-style-type: none"> 各自の電力需要に関する計画と調整可能量を算出し、CEMSに送信
目標	<ul style="list-style-type: none"> 市場価格から地域目標を策定 市場価格と売電価格からインセンティブ上下限を設定 需要家EMSの調整可能量を加味して、要請量を配分 	
制御	<ul style="list-style-type: none"> 需要家EMS実績合計と地域目標の差を地域蓄電池の充放電により補償 	<ul style="list-style-type: none"> 実績がCEMSから受信した目標に合うように、各保有設備を制御

4. 需要家 EMS 応答と地域蓄電池による同時同量制御手法

電力需給調整モデルでは、地域内の需要と供給を一致させる必要がある。著者らは、地域目標に対して、実績を過不足なく許容範囲内に収めるための同時同量制御手法を提案する。一つめは、3.2.2(c)における需要家 EMS ごとの応答性を考慮した DR 要請量配分で、二つめは、3.2.4 における地域蓄電池制御である。

4.1 需要家 EMS 応答性を考慮した DR 要請量配分

地域全体の DR 追従性を最大化するために、CEMS は DR 要請に対する需要家 EMS ごとの応答性を考慮して、DR 要請量の配分を行う。

DR 応答性は、需要家 EMS ごと時間帯ごとに、過去の一定期間における目標と実績に基づいて、Fig. 9 で算出される追従率で表す。Fig. 9 は Fig. 8 の最大インセンティブ、評価値をそれぞれ 100%、追従率 r としたものであり、追従率は、最大インセンティブに対して、需要家 EMS が獲得した評価値の割合を表す。

Fig. 9 DR responsiveness

時間帯 T における需要家 EMS i の計画と調整可能量上下限との差、すなわち DR 可能量を $\Delta q(i, T)$ 、追従率を $r(i, T)$ 、地域目標と需要家 EMS 計画合計の差、すなわち地域全体の DR 要請量を $\Delta P(T)$ 、地域 DR 可能量を $\Delta Q(T)$ とすると、需要家 EMS i に対する DR 要請量 $\Delta p(i, T)$ は (2) 式で求められる。 $\Delta p(i, T)$ が $\Delta q(i, T)$ を超える需要家 EMS がある場合は、 $\Delta p(i, T) = \Delta q(i, T)$ とし、残りの需要家 EMS で再配分を繰り返し行う。

$$\begin{aligned} \Delta Q(T) &= \sum_i (\Delta p(i, T)) \times r(i, T) \\ \Delta p(i, T) &= \Delta q(i, T) \times r(i, T) \times \frac{\Delta P(T)}{\Delta Q(T)} \end{aligned} \quad (2)$$

4.2 地域蓄電池制御

CEMS は、収集した実績に基づいて、毎分、時間帯終了時点での電力使用量を予測（30 分到達予測）し、目標とのずれに基づいて、地域蓄電池を制御する。時間帯の前半で生じた同時同量誤差を、後半で蓄電池を制御して調整する手法も考えられるが、その場合、太陽光発電など不確定要素の大きい設備があると補正しきれない、また出力の小さい蓄電池では大きなずれを補正しきれない

可能性があるため、毎分、制御を行うこととした。

毎分 s 秒に、蓄電池制御処理を行うとして、地域蓄電池制御における指令電力の算出手順を Fig. 10 に示す。(a)～(b) の各手順について述べる。

Fig. 10 Control of community storage

(a) 30 分到達予測

CEMS は、時間帯 T の終了時点での電力使用量を予測する。時間帯 T 内での経過時間 m [min] のとき、地域送受電電力量（1 分値） $P_{実績}(m)$ を求める (a1)。ここで、 $p_{実績}(m)$ は m における全需要家 EMS の送受電電力量（1 分値）の合計、 $Q(m-1)$ は $m-1$ の地域蓄電池の充放電指令電力（ Q は放電を正、充電を負）とする。

$$P_{実績}(m) = p_{実績}(m) - Q(m-1)/60 \quad (3)$$

$$(1 \leq m \leq 30)$$

つぎに、需要家 EMS の送受電電力量の 1 分ごとの変動量は小さく、 $1 \sim m$ の送受電電力量（1 分値）の重み付け平均で、 m の送受電電力量を予測できると仮定して、 $P_{実績}(m)$ を経過時間 m で重みづけし、 $m+1$ の需要家 EMS 送受電電力量（1 分値）合計 $p_{予測}(m+1)$ を予測する (a2)。

$$p_{予測}(m+1) = \frac{\sum_{t=1}^m (P_{実績}(t) \times 60 \times t)}{\sum_{t=1}^m t} \quad (4)$$

$p_{予測}(m+1)$ が残りの $(30-m)$ 分間継続するとして、残り時間の需要家 EMS 送受電電力量合計 $p'_{予測}(m)$ を求める (a3)。

$$p'_{予測}(m) = p_{予測}(m+1) \times \frac{30-m}{60} \quad (5)$$

さらに、 m までの地域送受電電力量 $P_{実績}(m)$ を加えて、 m における 30 分到達予測 $P_{予測}(m)$ を求める (a4)。

$$P_{予測}(m) = p'_{予測}(m) + \sum_{t=1}^m P_{実績}(t) \quad (6)$$

(b) 充放電指令電力算出

時間帯の終了時点での電力使用量が、時間帯 T における地域送受電電力量目標 $P_{目標}(T)$ となるように、地域蓄電池の充放電指令電力 $Q(m)$ を決定する。

$$Q(m) = (P_{予測}(m) - P_{目標}(T)) \times \frac{60}{30-m} \quad (7)$$

5. 提案手法の実証

本実証における CEMS は、2013 年度から実証地域における本格的な実証を開始した。本章では、電力需給調整モデルにおいて、DR 効果を最大化するための CEMS の方策として前章で提案した手法に関する検証結果について述べる。

5.1 実証条件

実証条件として、けいはんな地域モデルと市場取引価格について述べる。

(1) けいはんな地域モデル

実証地域は HEMS の電力使用量が他の需要家 EMS と比較して非常に小さいため、DR に対する住民行動が過小評価される。そこで、本実証では、国内最大電力需要 180GW に対する 2030 年の太陽光発電導入目標 53GW、すなわち約 29% の導入率に近い値となるように、(8) 式に示すように HEMS を仮想的に 8 倍して、けいはんな地域モデルとした。

$$\begin{aligned} \text{地域送受電電力量} = \\ \text{HEMS 送受電電力量 (14 軒)} \times 8 \\ + \text{BEMS 送受電電力量} + \text{EVC 送受電電力量} \quad (8) \end{aligned}$$

(2) 市場取引価格

本実証では夏季の平均的な取引価格として、2012/8/1 の日本卸電力取引所 (JEPX) スポット市場のシステムプライスを用いた。実証で設定した市場取引価格および売電価格と、3.2.2(b) で算出したインセンティブ上限を Fig. 11 に示す。なお、インセンティブ上限が負の時間帯は、送受電電力量を増加させる DR を実施した。これにより、昼間の電力需要を夜間にシフトするように誘導する効果が期待できる。今回の実証では、昼間は計画に対して 5% 削減、夜間は 5% 増加させる目標を設定した。

Fig. 11 Electric power price (Spot market, retail, and incentive limit)

5.2 DR 要請量配分の検証

追従率を考慮しなかった場合、すなわち $r(i, T) = 1$ とした場合との比較実証を行った。

時間帯ごとの地域追従率を Fig. 12 に示す。多くの時間帯において、Program2 の方が、追従率が高く、平均で約 35 ポイント高くなった。両側 5% の T 検定の結果、7:00 ~ 23:00 の 32 時間帯中 14 時間帯 (10:00 ~ 11:30, 12:00

Table 3 DR distribution programs

	Content	Term
Program 1	追従率を考慮しない配分	2012/8/29-9/4
Program 2	追従率を考慮した配分	2013/8/1-8/5

~12:30, 18:00 ~ 23:00) で有意差が認められた。7:00 ~ 23:00 以外は、夜間電力を利用して蓄電池の充電を行うため、評価対象外とした。

Fig. 12 Responsiveness of DR distribution with/without EMS responsiveness

また、需要家 EMS ごとの各実証における 13:00 ~ 13:30 の時間帯の平均追従率の比較を Fig. 13 に示す。Fig. 13 によると、ほとんどすべての需要家 EMS について、Program2 の方が、平均追従率が高くなったことがわかる。両側 5% の T 検定の結果、実績の欠測が多いため評価対象外とした二つの需要家 EMS を除いて、すべての需要家 EMS について、Program1 と Program2 の平均追従率で有意差が見られた。

Fig. 13 Responsiveness of each EMS

5.3 地域蓄電池制御の検証

5.3.1 分散型蓄電池と集中型蓄電池の比較検証

家庭用蓄電池のような分散型と地域蓄電池のような集中型の導入効果を比較するため、家庭用蓄電池を保有する HEMS10 軒を対象として、Table 4 の各実証の追従率を比較した。なお、地域蓄電池は家庭用蓄電池 10 軒分相当の容量のものをを用いた。

各実証における追従率の比較結果として、蓄電池を除いた需要家 EMS のみの追従率と蓄電池を含めた追従率を Fig. 14 に示す。需要家 EMS と蓄電池の追従率に対す

Table 4 Battery arrangement programs

	Content	Term
Program3	地域蓄電池を停止し、 家庭用蓄電池で同時同量	2013/12/14-12/18
Program4	家庭用蓄電池を停止し、 地域蓄電池で同時同量	2013/12/20-12/25

Fig. 14 Responsiveness of storage battery and EMS

る貢献度割合は、Program3は56%：44%，Program4は51%：49%である。

以上の結果から、

- 分散型でも集中型でも、蓄電池導入により、需要家EMSのみと比較して、追従率が約2倍となる
- 蓄電池の貢献度割合は、集中型の方が若干高い（約5ポイント）

ことがわかった。分散型は需要家EMSごとに制御するのに対し、集中型は地域全体で制御するので、全体最適を図ることができたと考えられる。一方で、集中型は少量の充放電を抑止している（後述）ため、貢献度に大きな差が出なかったと考えられる。

5.3.2 地域蓄電池の適正容量検証

地域蓄電池の同時同量制御結果の例をFig. 15に示す。この例では、11:26までは11:30時点の地域送受電電力と目標のずれが大きいと予測されたため、地域蓄電池から放電し、その後、目標に近づくことが予測されたため、放電を停止し、結果として11:00～11:30の時間帯で同時同量を達成できたことを示している。

Fig. 15 Example of community storage battery simultaneous commensurate control

地域蓄電池を大容量にすると、需要と供給の大幅なずれを吸収でき、インバランス料金の低減につながるというメリットがあるが、初期コストや設置スペース上の問

Table 5 Specification of community storage batteries

No.	容量 [kWh]	PCS 出力 [kW]	備考
0	—	—	地域蓄電池なし
1	109	5~50	家庭用10軒相当
2	218	10~100	—
3	545	25~250	—
4	1,089	50~500	地域最大需要の3割相当
5	3,268	150~1,500	地域最大需要相当

題から、地域蓄電池の容量を小さくしたいという要求がある。そこで、制御性能の観点から、地域同時同量のための地域蓄電池の適正容量について考察する。

2013年12月の実証データに基づいて、さまざまな容量の地域蓄電池（2時間容量）の同時同量制御精度を比較するシミュレーションを実施し、地域蓄電池の適正容量を検証した。シミュレーションに用いた地域蓄電池のスペックをTable 5に示す。一般的に、低出力時は、パワーコンディショナ（Power Conditioning System：PCS）の変換効率が低下する[13]ため、本検証ではPCS出力範囲を定格の10～100%とした。

Fig. 16 Average of simultaneous commensurate error rate

Fig. 17 Achievement ratio of simultaneous commensurate rate

Fig. 18 Sum of simultaneous commensurate error amount

制御性能の評価指標は、平均誤差率、同時同量達成率、同時同量違反量とした。各評価指標を比較した結果を Fig. 16～Fig. 18 に示す。

- 平均誤差率：地域目標に対して、地域実績が許容誤差を超えた量（絶対値）の割合の平均
- 同時同量達成率：全時間帯に対して、地域実績が許容誤差の範囲内となった時間帯数の割合
- 同時同量違反量：地域目標に対して、地域実績が許容誤差を超えた量（不足：地域実績の方が少ない、超過：地域実績の方が多い）の合計

いずれの評価指標も 1MWh 程度の地域蓄電池 No.4 が最も精度が高くなった。本実証では、効率を考慮して、最小出力を 10% としたため、No.5 は微調整が難しく、容量の小さい No.4 より制御性能が低下した。

6. おわりに

CEMS における DR の効果を最大化するための方策として、需要家 EMS ごとの DR 要請量配分の最適化と地域蓄電池制御を提案した。また、けいはんな学研都市での実証試験において提案手法の検証を行った。追従率を考慮した目標配分を行うことにより、地域追従率を約 35 ポイント向上することができた。また、家庭用蓄電池（分散型）と地域蓄電池（集中型）では、集中型の方が若干、精度が高いが、ほぼ同等であることがわかった。地域蓄電池の容量は、地域最大需要の 3 割程度が適正であるという結果となった。今後、地域蓄電池に関する初期コストや運用コストなど経済性を考慮した評価を行っていく。

参考文献

- [1] スマートエネルギーネットワーク最前線, エヌ・ティー・エス, pp. 390–433 (2012)
- [2] 蓄電社会の幕開け; 日経エコロジー 2014/12 号, pp. 30–32 (2014)
- [3] 松澤, 山田, 宮崎: Web サービス技術を用いて地域需要家の連携を実現する CEMS; 東芝レビュー, Vol. 66, No. 12 (2011)
- [4] 羽深: 横浜スマートシティプロジェクト, 実証から実装へ; 情報処理学会連続セミナー 2013 第 5 回講演資料, pp. 13–15 (2013)
- [5] 大賀, 樺澤: 北九州スマートコミュニティ創造事業におけるダイナミックプライシング社会実証; 富士電機技報, Vol. 86, No. 3, pp. 166–172 (2013)
- [6] 北九州スマートコミュニティ創造事業における実証成果; 富士電機技報, Vol. 87, No. 2, p. 120 (2014)
- [7] 米国における需要反応プログラムの実態と課題, 電力中央研究所 (2006)
- [8] 4 地域社会実証の現状と課題; 経済産業省次世代エネルギー・社会システム協議会 配布資料 (2012) <http://www.meti.go.jp/committee/>

summary/0004633/014_08_00.pdf (最終アクセス: 2015/02/10)

- [9] 井野本, 坂上, 伊藤, 田熊: けいはんな学研都市実証事業への取り組み; スマートグリッド, 第 4 巻, 第 2 号, pp. 19–24 (2014)
- [10] 山田: けいはんな地域における次世代エネルギー社会システム実証事業; 平成 23 年電気学会全国大会講演論文集 (第 1 分冊), H2(9) – H2(12) (2011)
- [11] 木舟: 発電・送電の基本と仕組み, 秀和システム, pp. 82–83 (2011)
- [12] 小島: デマンドレスポンス対応需給制御技術; OHM, 2013 年 8 月号, pp. 2–3 (2013)
- [13] 龍: デジタル制御による太陽光発電用パワーコンディショナの開発; OKI テクニカルレビュー, Vol. 76, No. 1, pp. 40–43 (2009)

著者略歴

さか じょう さと こ
坂上 聡子

1974 年 2 月 6 日生。1998 年 3 月大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士前期課程修了。同年 4 月三菱電機入社。エネルギーマネジメント技術、データ解析技術の研究開発に従事。情報処理学会の会員。

い の もと まさ き
井野本 正樹

1970 年 7 月 13 日生。1996 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機入社。電力流通、スマートコミュニティ事業に従事。

た くま よし ゆき
田熊 良行

1949 年 1 月 6 日生。1973 年 3 月東京工業大学機械工学専攻修士課程修了。同年 4 月三菱電機入社。エネルギーソリューション事業、スマートコミュニティ事業に従事。

いわ た まさ ふみ
岩田 雅史 (正会員)

1966 年 8 月 6 日生。1992 年 3 月神戸大学大学院工学研究科計測工学専攻修士課程修了。スケジューリング技術、エネルギーマネジメント技術などの研究開発に従事。博士 (工学)。計測自動制御学会、電気学会の会員。